Aus dem physiologischen Institut der Universität München.
Direktor: Prof. Dr. Otto Frank.

Theoretische und experimentelle Kritik bewegungsregistrierender Methoden.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

in der

gesamten Medizin

verfasst und einer

hohen medizinischen Fakultät

der

Kgl. bayer. Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von

OTTO BECK.

München 1911
Kgl. Hofbuchdruckerei Kastner & Callwey.

Aus dem physiologischen Institut der Universität München.
Direktor: Prof. Dr. Otto Frank.

Theoretische und experimentelle Kritik bewegungsregistrierender Methoden.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

in der

gesamten Medizin

verfasst und einer

hohen medizinischen Fakultät

der

Kgl. bayer. Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von

OTTO BECK.

ACAD. LUGD. BAT. BIBL.

München 1911
Kgl. Hofbuchdruckerei Kastner & Callwey.

Gedruckt mit Genehmigung der medizinischen Fakultät der Universität München.

Referent:
Prof. Dr. Otto Frank.

Im folgenden bespreche ich eine Reihe von Methoden, die hauptsächlich zur Registrierung der Herzbewegungen, also zur Kardiographie dienen sollen. Sie sind von Herrn Professor Frank angegeben. In dem von Frank definierten Sinn stellen sie sich als bewegungsregistrierende — kinographische — im Gegensatz zu den dynographischen Methoden dar.

I. Der Hodograph.

Der Hodograph ist bestimmt zur Registrierung der Bewegungen einzelner Punkte der Herzoberfläche usw., und zwar soll die Registrierung ohne jede „Rückwirkung" erfolgen. Die Punkte werden markiert durch kleine Metallkügelchen. Zuerst wurden hierzu Silberkügelchen verwendet, am besten haben sich aber Quecksilberkügelchen bewährt. Bei dem langsam schlagenden Froschherzen können freie Quecksilbertröpfchen von etwa 0,2 mm Durchmesser auf kleinen schwarzen Papierblättchen mit einer dünnen Paragummilösung soweit befestigt werden, daß sie bei der Bewegung des Herzens nicht herabrollen. Bei dem Warmblüterherzen werden kleine Glaskügelchen mit dem Quecksilber gefüllt und

mit Fäden an der Oberfläche des Herzens angeheftet. Die schärfsten Bilder werden natürlich von den freien Quecksilbertröpfchen gegeben, weil sie fast strenge Kugelgestalt besitzen. Der Teil der Herzoberfläche, an dem die Quecksilbertröpfchen fixiert sind, wird nun ähnlich wie bei der episkopischen Projektion beleuchtet. Es wird aber nur ein leuchtendes Spaltbild entworfen. Die Strahlenachse ist bis zu dem Episkopspiegel horizontal, durch den Episkopspiegel werden die Strahlen schief nach unten reflektiert. Das projizierende Objektiv, am besten ein Zeiss-Tessar, steht senkrecht über der Herzoberfläche. Durch einen Umkehrspiegel wird der Strahlengang horizontal zu einem optischen Registrierapparat geleitet. Die Lichtmenge, die von einer 8—30 Ampère-Bogenlampe geliefert wird, ist im allgemeinen so groß, daß die volle Oeffnung der Tessare nicht nötig ist, selbst wenn eine bis 10fache Vergrößerung der Bewegung, wie dies bei dem Froschherzen erforderlich ist, angewendet wird. Projiziert wird bei dieser Vorrichtung eine zweidimensionale Bewegung in der Fläche der Herzoberfläche. Die zeitlichen Verhältnisse können mit dieser Registrierung nur klargestellt werden, wenn der Strahlengang in gleichen Intervallen unterbrochen wird. Das geschieht durch eine Unterbrechungsscheibe, die vor dem Spalt aufgestellt ist. Es ist nun höchst erwünscht, daß neben der hodographischen Registrierung eine andere, etwa diejenige der Druckschwangungen oder eine ähn-

liche zugleich erfolgt. Dazu kann das optische Lufttransmissionsverfahren nach Frank angewendet werden. Hierbei muß der Strahlengang dieses Registriersystems in denjenigen des Hodographen durch passende Spiegel eingeleitet werden. Um nun die zeitlichen Koinzidenzen der beiden Registrierungen festzustellen, ist es unbedingt notwendig, daß der Strahlengang der optischen Lufttransmission zur gleichen Zeit unterbrochen wird und daß bestimmte Zeitmarken, etwa jeweilig die fünfte, in beiden Registrierungen als gleiche charakterisiert sind. Hierzu besitzt das Unterbrechungsrad für jede fünfte Unterbrechung Doppelspeichen, und das Unterbrechungsrad dient zur Strahlenunterbrechung für beide Strahlengänge gleichzeitig.

II. Die lineare Lufttransmission.

Eine eingehende theoretische und experimentelle Untersuchung habe ich über die Leistungen einer weiteren kinographischen Methode, nämlich der linearen Lufttransmission angestellt, und zwar hauptsächlich über die Segmentkapsel, die wohl am besten bei dieser Methode verwendet wird. Bei der linearen Lufttransmission wird eine lineare Bewegung zunächst auf eine Senderkapsel übertragen und die Bewegungen dieser Senderkapsel dann durch Luftleitung auf eine Registrierkapsel geleitet. Die von Frank angegebene Konstruktion der Segmentkapsel besteht im Prin-

zip darin, daß die Oeffnung der Kapsel nicht einen geschlossenen Kreis, sondern ein Segment bildet. Um die Sehne dieses Segmentes dreht sich eine Platte. Die Platte ist gewöhnlich auf einer über die Kapselöffnung ausgespannten Membran geklebt. Die Segmentkapsel läßt sich natürlich auch bei anderen Methoden etwa auch bei dynographischen Methoden verwenden. Für die theoretische Betrachtung erscheint es von großem Vorteil, zunächst die Verhältnisse bei einer Segment-Kolbenkapsel zu betrachten. Sie läßt sich verhältnismäßig einfach theoretisch behandeln, eine praktische Bedeutung dürfte sie wohl nicht haben. Die theoretischen Entwicklungen liefern die Grundlage für die Analyse der Segment-Membrankapsel.

a) Theorie der Segment-Kolbenkapsel.

Die Kolbenkapsel hat dieselbe Form der Oeffnung wie die Membrankapsel. Um die Sehne des Segmentes als Achse dreht sich bei der idealen Kolbenkapsel wasserdicht eingedichtet, die Platte. An ihr wirkt eine Feder zur Erzeugung der rückwirkenden Kräfte. Ob sich diese Konstruktion tatsächlich verwirklichen läßt, ist für die Analyse der Leistungen ohne Bedeutung.

Nach O. Frank sind die wesentlichen Konstanten dieses Instrumentes in Analogie mit der gewöhnlichen kreisförmigen Kapsel sinngemäß folgendermaßen zu definieren:

1. Die Empfindlichkeit γ ist der Quotient aus dem Winkelausschlag der Platte und dem hydrostatischen Druck, der den Ausschlag hervorbringt.
2. Der Elastizitätskoeffizient η ist der Quotient aus dem Drehmoment, das auf die Platte wirkt, dividiert durch den Winkelausschlag. Die Dimension dieser Größe ist dieselbe wie bei dem gewöhnlichen Torsionsmodul.
3. Die Volumübersetzung U ist der Quotient aus dem Volumen der Ausbauchung, dividiert durch den Winkelausschlag.
4. Der Volumenelastizitätskoeffizient E′ ist wie bei der kreisförmigen Kapsel der Quotient aus dem hydrostatischen Druck, dividiert durch das Volumen der durch ihn hervorgebrachten Ausbauchung.

Auf Grund von einfachen Entwicklungen ergeben sich folgende Beziehungen für diese Größen:

In der Entfernung a von der Sehne greift eine Feder mit dem Koeffizienten E an.

Dann ist $\eta = Ea^2$ 1)

U ist gleich $\int_{y_0}^{r} 2x\,(y - y_0)\,dy = \int$ und wird für den Halbkreis, bei dem $y_0 = 0$ ist, zu: $^2/_3\ R^3$ 2)

$$E^1 = \frac{\eta}{f^2} \quad 3)$$

$$\gamma = \frac{f}{\eta} \quad 4)$$

$$\frac{U^2 E^1}{\eta} = \frac{U}{\gamma \cdot \eta} = 1 \qquad 5)$$

Die Größe $\gamma \cdot \eta$ stellt für die Güte der Membran-Segmentkapsel die Grenze dar. Sie wird beispielsweise für ein halbkreisförmiges Segment zu $^2/_3$. Sie ist für die Beurteilung der Leistungen der Segmentkapsel ebenso wichtig wie die analoge Größe für die kreisförmige Kapsel.

Auf Grund von einfachen Dimensional-Betrachtungen gelingt es, wie Herr Professor Frank gezeigt hat, eine Schätzung der Beziehungen der wesentlichen Konstanten der Membran-Segmentkapsel zu den Dimensionen zu geben, wenigstens die Abhängigkeit dieser Konstanten von dem Radius der Kapsel zu ermessen.

Darnach ist:

$$\gamma = \frac{R \triangle_1}{S} \qquad 6)$$

$$\eta = R^2 S \triangle_2 \qquad 7)$$

$$E^1 = \frac{S \triangle_3}{R^4} \qquad 8)$$

$$U = R^3 \triangle_4 \qquad 9)$$

Dabei ist $\triangle_1 \triangle_3 \triangle_4 = 1$.

b) Theorie der Membran-Segment-Kapsel.

Nunmehr ist es Herrn Prof. A. Sommerfeld gelungen, die Differentialgleichungen, die nach O. Frank die Grundlage für die Theorie der Membrankapsel im allgemeinen, also auch der Segmentkapsel bildet, zu integrieren, und zwar für die halbkreisförmige

Kapsel. Ich reproduziere hier nur die Resultate dieser Entwicklungen und verweise auf die noch ausstehende Publikation der Analyse.

Die Differentialgleichung lautet:

$$\frac{d^2u}{dx^2} + \frac{d^2u}{dy^2} = \frac{p}{S}$$

Die Erhebung u eines Punktes (φ, r) der Membran ist gleich der unendlichen Reihe ($r = \rho \cdot R$ gesetzt, wobei R der Radius der Trommel ist):

$$u = \frac{2p}{\pi S} R^2 \rho^2 \Sigma \frac{(-1)^{n+1}}{(2n-1)(2n+1)(2n+3)} (1-\rho^{2n-1})$$

$$\cos (2n+1)\, \varphi = \frac{2p}{\pi S} R^2 \rho^2 U \qquad 10)$$

Die Schnittkurve ρ_f einer Ebene, die in einem Winkel α durch die Sehne zu der Segmentfläche gelegt wird und dadurch ein mittleres $\rho = \rho_0$ erhält, mit der Fläche u ergibt sich aus folgender Beziehung:

$$\cos \varphi\, \rho_0\, U_0 = \rho_f \cdot U_f$$

Zur Berechnung von ρ_f aus dieser Gleichung wird $\rho_f = a\,(1+\varepsilon)$ gesetzt. U_f wird dann:

$$= \Sigma \frac{(-1)^{n+1}}{(2n-1)\,(2n+1)\,2n+3)} [1-a^{2n-1} - a^{2n-1} (2n-1)\,\varepsilon] \cos (2n+1)\, \varphi \qquad 11)$$

Wird eine derartig begrenzte Platte auf die Membran aufgeklebt, so wird die Empfindlichkeit $\gamma = \frac{\alpha}{p}$ zu:

$$\frac{2}{\pi S} R\, \rho_0\, U_0 \qquad 12)$$

Für $\rho_0 = 0$ wird $\rho_0 U_0$ zu $^1/_3$. γ läßt sich durch die vereinfachten Beziehungen $\gamma = 0.2122\ (1-\rho_0)$ und $0.1814\ (1-\rho_0)$ für die untere und obere Grenze ausdrücken.

Die Begrenzungskurve der Platte weicht, wie die unten mitgeteilten Beobachtungen zeigen, nicht sehr stark von einem Kreis ab, der folgende Gleichung hat:

$$\rho = \frac{1}{2\rho_0}\left[\sqrt{4\rho_0^2 + (1-\rho_0^2)^2\cos^2\varphi} - (1-\rho_0^2)\cos\varphi\right] \quad 13$$

Das Volumen der Ausbauchung läßt sich trotz dieser vereinfachten Annahme wegen der komplizierten Integrationsgrenzen nur schwer integrieren. Ganz einfach ergibt es sich für die Membran, auf der überhaupt keine Platte aufgeklebt ist, nämlich zu:

$$V = \frac{p}{\pi S} R^4 \Sigma \frac{1}{(2n+1)^2 (2n+3)^2} \quad 14)$$

Wenn die Platte sehr groß ist, kann man die Gleichung der Begrenzungskurve zu folgender vereinfachen:

$$\rho = 1 - \delta \cos \varphi \quad 15)$$

Dann läßt sich das Volumen der Ausbauchung als folgende Größe integrieren:

$$V = \frac{2\alpha R^3}{3} - \frac{\alpha \pi \delta}{4} R^4 \quad 16)$$

Wird $\rho_0 = 1$, dann ist das Volumen in der Grenze $= \frac{2\alpha R^3}{3}$ 16a)

d. h. = dem Kugelausschnitt mit dem Winkel α.

Die Volumübersetzung $U = V/\alpha$ und die Elastizitätskonstante E′ ergeben sich entsprechend:

$$U = R^3 \left(^2/_3 - \frac{\pi\,\delta}{4}\right) \qquad 17)$$

Weiterhin ist es A. Sommerfeld auch gelungen, die Grundlage für die Berechnung der Größe μ zu liefern. Die Differentialgleichung lautet:

$$\frac{\delta^2 u}{\delta x^2} + \frac{\delta^2 u}{\delta y^2} = 0.$$

Auf Grund einer schwierigen Integration und entsprechenden Vereinfachungen ergibt sich für die Größe η folgender Wert bei kreisförmiger Begrenzung der Platte und großer Plattenhöhe:

$$\eta = R^2 S \left[\frac{1+\rho_0^2}{\rho_0}\cdot\left(1 - \frac{1-\rho_0^2}{2\,\rho_0}\arcsin\frac{2\rho_0}{1+\rho_0^2}\right) + \frac{1+\rho_0^2}{1-\rho_0^2}\right] \qquad 18)$$

Man kann aus dieser Entwicklung vielleicht mit einem gewissen Recht auch für kleine Höhen der Platte für den zweiten Summanden die Formel extrapolieren:

$$\eta = R^2 S \left(1 + \frac{2\,\rho^9}{1-\rho_0^2}\right) \qquad 18a)$$

Berechnet man aus γ, U und η die Größe Φ, so zeigt sich eine gewisse Unstimmigkeit. Nämlich in der Grenze, wenn die Platte die Kapselöffnung vollständig ausfüllt, müßte hier dasselbe Φ resultieren, wie bei der Kolbenkapsel, nämlich 1, oder für das Produkt $\gamma \cdot \eta = {}^2/_3$. Dieses Produkt beträgt aber, wie die

Zusammenstellung in der unten mitgeteilten Tabelle 4 aller dieser berechneten Werte zeigt, nur etwa 0,2. Vorläufig ist der Grund für diese Unstimmigkeit noch nicht anzugeben.

Die nähere Erörterung dieser Verhältnisse wird in der bevorstehenden Veröffentlichung der theoretischen Untersuchungen stattfinden. Ich gebe hier nur kurz eine angenäherte Entwicklung für die Konstanten γ und η für große Platten, d. h. Platten mit großem ρ_0, das nur wenig (δ) von 1 abweicht (Begrenzungskurve siehe Formel 15). Hierbei wird die Membran ohne Krümmung zwischen der Trommel und dem Plattenrand ausgespannt angenommen.

Dann wird der zweite Summand von η (der erste findet sich, in der Formel 18 angegeben, er wird in der Grenze gleich $2R^2S$

$$= \frac{2SR}{\delta}\int_0^R \left(1-\delta\frac{\sqrt{R^2-x^2}}{R}\right)^2 dx \qquad 19a)$$

$$= 2SR^2\left(\frac{1}{\delta}-\frac{\pi}{2}\right) \qquad 19b)$$

Das zweite Glied dieser Summe kann man vernachlässigen bei großem ρ_0. So wird η in der Grenze gleich

$$\eta = \frac{2SR^2}{1-\rho_0} \qquad 20)$$

und γ gleich $\frac{(1-\rho_0)R}{3S}$.

(Das Produkt der beiden gleich $^2/_3$ wie bei der idealen Kolben-Segmentkapsel angenommen.)

Man sieht, daß η doppelt so groß wie nach der allgemeinen Entwicklung ausfällt, was sowohl eher nach der Analogie mit der Kolbenkapsel als auch mit den experimentell gewonnenen Ergebnissen stimmt.

c) Durchrechnung der Theorie.

Ich habe nun eine Reihe von Berechnungen angestellt, um diese Formeln in speziellen Fällen anwenden zu können, ferner um die Annahme, die einem Teil der Entwicklungen zugrunde liegt, daß als Begrenzungskurve der Platte ein Kreis angenommen werden könnte, als hinlänglich genau zu erweisen, ferner um die Formeln an einer Reihe von experimentellen Beobachtungen zu prüfen.

Der erste Schritt bei den Berechnungen war, zu prüfen, ob als Begrenzungskurve für die Platte ein Kreisbogen angenommen werden könnte. Die hierzu notwendige Formel ist oben angegeben (Formel 11). Die Zahlen für die Berechnung der einzelnen Glieder der Reihen sind in den Hilfstabellen 1—7 am Schluß der Dissertation mitgeteilt. Die Hilfstabellen 5 und 6 enthalten speziell die Glieder der Reihe U (siehe Formel 11).

In der folgenden Tabelle 1 sind zunächst die Werte U_0 für den Medianschnitt, dann $U_0 \cdot \rho_0$ gleich der linken Seite der Gleichung 11, dann $U\rho^2$, d. h. der Verlauf der medianen Schnittkurve angegeben.

Tabelle 2 enthält die Radienvektoren für die richtige Begrenzung und für den Kreis.

Tabelle 1. $\varphi = 0$.

ρ_0	U_0	$U_0 . \rho_0$	$U\rho^2$
0	∞	0.3333	0
0.1	2.9478	0,2948	0.0295
0.2	1.2874	0.2575	0.0515
0.3	0.7387	0.2216	0.0665
0.4	0.4672	0.1869	0.0748
0 5	0.3067	0.1534	0.0767
0.6	0.2015	0.1209	0.0725
0.7	0.1278	0.0895	0.0627
0.8	0.0736	0.0589	0 0471
0.9	0.0324	0.0292	0.0167
1.0	0	0	0

Tabelle 2. ρ_f der Begrenzung der Platte.

φ	$\rho_0 = 0.8$		$\rho_0 = 0.4$	
	Kreis	richtige Kurve	Kreis	richtige Kurve
$\pi/8$	0.8131	0.8083	0.4225	0.4167
$\pi/4$	0.8531	0.8384	0.5029	0.4791
$3/\pi 8$	0.9189	0.8907	0.6764	0.5849
$7/\pi 16$	0.9561	0.9121	0.8159	0.6814
85^0	0.9823		0.9127	0.7621

Aus der Zusammenstellung geht hervor, daß für die mittleren Partien der Platte die Begrenzungskurve nicht weit vom Kreis abweicht. Für die größeren Winkel φ hat die Begrenzungskurve allerdings einen merkbar

größeren Abstand von dem Trommelrand als der Kreis. Es ist kaum anzunehmen, daß die Differenz durch die schlechte Konvergenz der Reihen in diesem Bezirk bedingt ist. Man darf daraus die Vorschrift entnehmen, die Platte an den Seiten etwas kleiner als den Kreis zu nehmen. Daß tatsächlich die Platte an der Sehne gleich lang wie die Sehne der Trommel wird, läßt sich wohl allgemein ableiten. Man kann nämlich die Reihe allgemein summieren, wenn man $\varphi = 90^0 - \delta$ setzt. Dann wird $\cos (2n+1)\varphi = \sin (2n+1)\delta$, d. h. in der Grenze $= (2n+1)\delta$ mit jeweilig abwechselnden Vorzeichen. Und die Reihe U_f wird zu $\varepsilon \Sigma \frac{1}{2n+1}$, wenn man $a = 1$ setzt. Diese Reihe divergiert aber, d. h. ε wird gleich 0 oder ρ wird für jedes ρ_0 zu 1.

Tabelle 3. Summanden von η.

ρ_0	η I	η II
0	0	0
0.1	0.2020	0.1339
0.2	0.4167	0.2730
0.3	0.6593	0.4312
0.4	0.9523	0.5826
0.5	1.334	0.7613
0.6	1.918	0.9602
0.7	2.470	1.1834
0.8	4.443	1.4275
0.9	9.474	1.6645
1.0	∞	2.0000

Jedenfalls ist die Abweichung der Begrenzungskurve nicht so groß, daß man für die Berechnungen der Elastizitätskoeffizienten nicht die Kreisform annehmen könnte. In der Tabelle 3 sind die beiden Summanden von η nach der Formel 18a angegeben.

Ich habe nun in der folgenden Schlußtabelle 4 nach den früheren Formeln 12, 14, 16, 16a, 17 und 18 die Werte von γ, V, U, E' und η berechnet und zusammengestellt.

Generaltabelle 4.

	γ	V	U	E'	η	$\gamma \cdot \eta$
ρ_0	$=R/S\frac{\Delta_1}{\Delta^1}$	$=p/SR^4\frac{\Delta}{\Delta}$	$=R^3\frac{\Delta_4}{\Delta^4}$	$=\frac{S}{R_4}\frac{\Delta_3}{\Delta^3}$	$=R^2S\frac{\Delta^2}{\Delta_2}$	$=R_3\frac{\Delta_1\Delta_2}{\Delta^1\Delta^2}$
0	0.2122				0	0
0.1	0.1877				0.3351	0.063
0.2	0.1639				0.6897	
0.3	0.1411				1.0905	
0.4	0.1183				1.5349	
0.5	0.0976				2.0953	0.205
0.6	0.0771				2.8782	0.222
0.7	0.0570				3.6534	0.208
0.8	0.0376	0.0191	0.5096	52.19	5.8705	0.221
0.9	0.0186	0.0097	0.5882	91.41	11.1385	0.207
1.0	0		0.6667	∞	∞	0.181

Daraus ergibt sich das merkwürdige Resultat, daß das Produkt $\gamma\eta$, das für die Güte maßgebend ist, nach den Berechnungen aus den Reihenentwicklungen ersichtlich zu klein ausfällt. Denn es müßte unter allen Umstän-

den in der Grenze, d. h. für $\rho_0 = 1$ zu $^2/_3$, d. i. gleich dem analogen Wert für die ideale Kolbenkapsel werden. Wodurch die Unstimmigkeit bedingt ist, ist vorläufig nicht zu ersehen. Die unten mitgeteilten Beobachtungen ergeben, daß unter denselben Verhältnissen, wie sie hier angenommen worden sind, nämlich daß als Begrenzungskurve ein Kreis gilt, tatsächlich das Produkt höher ausfällt als nach der theoretischen Analyse.

d) Versuchsanordnung.

1. Form der Segmentkapseln.

Spannung der Membran.

Die Kapseln bestehen aus Metall, sind halbkreisförmig geformt; die Ränder des Halbkreises und der Sehne ragen etwas hervor. Die Kapsel trägt einen Konus, mit dem sie durch eine Oeffnung, die der Mitte der Sehne gegenüber angebracht ist, in freier Verbindung steht. Zu den Versuchen verwendete ich Kapseln von 1, 2, 3 und 5 cm Durchmesser. Ueber die Kapselöffnung wird eine Membran gespannt. Um in der Versuchsreihe wenigstens annähernd dieselbe Spannung der Membran zu erhalten, ließ ich mir halbkreisförmige Metallstempel anfertigen, die um einen bestimmten Betrag, um 7 % kleiner als die entsprechenden Kapseln sind. Damit stempelte ich die ausgebreitete Gummimembran, die dann derart über die Segmentkapsel gespannt wurde, daß die aufgezeichneten Stempelränder mit den

Kapselrändern abschlossen. Als Membran nahm ich Gummi von der Dicke 0,09, 0,25 und 0,3 mm. Es ist von Bedeutung, nicht zu dünne Membranen zu gebrauchen, da eine Überdehnung stattfindet, wenn die einwirkende Kraft einen gewissen Betrag übersteigt. So bemerkte ich bei meinen Versuchen, daß bei einer Belastung von 0,8 g an bei Verwendung der 0,09 mm-Membran zuerst der Lichtfaden sich schnell, sagen wir 10 cm, bewegte, um dann langsam noch weiter zu wandern, so daß schließlich ein Ausschlag von 12 cm resultierte. Die Membran erleidet durch zu schwere Belastung eine Deformation, die nicht sofort ihren höchsten Wert erreicht. Entfernt man das belastende Gewicht, so gleicht sich die Deformation in ihrem vollen Umfang nicht sofort aus, der Lichtfaden geht zuerst schnell zu einem gewissen Betrag und dann langsam bis zum Nullpunkt zurück. Die Einstellung auf den Nullpunkt erfolgt bei einer Belastung über 0,9 g überhaupt nicht mehr vollständig bei Membrandicke 0,09 mm, die Membran hat eine Dehnung erfahren, die sie nicht mehr ganz auszugleichen imstande ist. Dadurch tritt eine Aenderung in der Membranspannung ein und die folgenden Versuchsresultate weichen von den ersten ab. Aehnlich liegen die Verhältnisse, wenn ein zu großer Druck eine Volumverschiebung der Membran erzeugt. Die Ausbauchung der Membran erfolgt zuerst proportional der Einheit des Druckzuwachses, erleidet dann bei zu hohem Druck eine Dis-

proportionalität, die nicht mehr vollständig abklingt beim Aufhören der einwirkenden Kraft, wenn diese einen gewissen Betrag überschritten hat. Ganz deutlich trat diese unvollständig reparable Ausbauchung bei der Membran 0,09 mm in Erscheinung, wenn ein Druck von 8 cm Petroleum und darüber einwirkte.

2. Aufkleben der Aluminiumplatte.

Auf die Membran wird eine Aluminiumplatte aufgeklebt, deren Rand eine halbkreisförmige Gestalt hat und deren Höhe kleiner (annähernd $^2/_3$ der Höhe der Segmentkapsel) als die Höhe der Kapsel genommen wurde. Der gerade Rand der Platte differiert um weniges von der Sehnenlänge der Kapsel. Die Plattenhöhe ist genau in den Tabellen, wenn notwendig, jeweils angegeben. Die Aluminiumplatte trägt einen Hebel, an dessen Ende die belastenden Gewichte gehängt wurden. Wirkt auf die Aluminiumplatte irgend eine Kraft ein, so bewegt sie sich um die Kapselsehne als Achse. Die Bewegungen erfolgen bei richtig aufgeklebter Platte streng um die genannte Achse, und eventuelle seitliche Bewegungen kommen hiebei nicht in Frage (O. Frank, Zeitschr. f. Biologie, 50, S. 342, 1908). Als Klebemittel benützte ich in den ersten Versuchen Radfahrgummi, später Otto Ringsches Syndeticum; einen besonderen Vorzug des einen vor dem anderen Klebemittel konnte ich bei meinen Versuchen durch etwaige Aenderung in den Versuchsergebnissen nicht feststellen. Dem

Syndeticum würde ich insofern den Vorzug geben, als es sich sehr gleichmäßig aufstreichen läßt und ganz fest nach 4—5 Stunden klebt. Der Radfahrgummi läßt sich auch ziemlich gleichmäßig auftragen, erhärtet aber sehr rasch, und wenn man nicht sofort die Platte allseits fest auf die Membran andrückt, kann möglicherweise die eine oder andere Stelle der Platte nicht ganz fest mit der Membran verklebt sein, was die Bewegungen streng um die Sehne als Achse stören kann. Es ist von allergrößter Wichtigkeit, daß die Platte gut und zentrisch aufgeklebt wird, die beiden Plattenecken müssen gleichen Abstand von den beiden Sehnenecken haben, ihre Basis genau an der Sehne abschließen. Das Klebemittel muß in dünner Schicht und allseits gleichmäßig aufgetragen werden. Ist die Schicht zu dick, so findet eine Verziehung der Membran statt, ist sie ungleichmäßig verteilt, so klebt schließlich der eine Teil fester als der andere, der sich nach Umständen von der Membran ablöst, wodurch seitliche Bewegungen auftreten. Fernerhin muß man einige Stunden mit dem Versuchsbeginn warten, bis eben eine feste Verklebung eingetreten ist.

3. Aufkleben des Spiegels.

Auf die Aluminiumplatte wird ganz leicht ein kleiner Spiegel aufgeklebt. Es darf nur ein Minimum von Klebestoff (am besten hier Radfahrgummi) verwendet werden, da sich der Spiegel andernfalls verzieht und ein unschar-

fes, verzerrtes Bild des Nernststäbchens entwirft. Bei einem unscharfen Umriß des Lichtfadens sind natürlich genaue Beobachtungen von Zehntelmillimeterausschlägen schlechterdings unmöglich. Der gerade Rand der Platte und der Durchmesser des Spiegels sollen annähernd zusammenfallen.

4. Bestimmung des Torsionsmoduls.

An den Endpunkt des Plattenhebels (Länge von der Sehne aus gerechnet = h) werden verschiedene Reitergewichte gehängt, die ich mir aus Draht formte. Bei jedem Gewicht wurden jeweils 6—10 Ausschläge beobachtet und daraus das Mittel genommen. Ich benützte als Belastung leichtere Gewichte und schwerere. Für jedes einzelne Gewicht wurde der Torsionsmodul berechnet und in absolutem Maß ausgedrückt. Aus den für die einzelnen Gewichte berechneten Torsionsmoduls wurde dann wieder das Mittel genommen. Die sich ergebenden Zahlen finden sich in den Generaltabellen 8, 9, 10. Der Torsionsmodul wurde auf folgende Weise berechnet:

$$\text{Torsionsmodul} = \frac{\text{Gewicht} \cdot h \cdot 2 \text{ opt. Hebellänge} \times 981}{\text{beobacht. Ausschlag.}}$$

Ueber die Bestimmung der optischen Hebellänge siehe unten:

5. Bestimmung der Winkelempfindlichkeit.

Als druckerzeugenden Apparat benützte ich zwei Glasröhren von je 3 cm Durchmesser

und 15 cm Höhe, die ungefähr zur Hälfte mit Wasser gefüllt sind und an beiden Seiten in einen Konus endigen. Um die Gefäße bequem in ihrer Höhe verstellen und somit eine Druckänderung von bestimmtem Wert hervorbringen zu können, befestigte ich die Glasgefäße an einem Zimmermannschen Stativ. Das eine Glasrohr war durch ein T-Rohr mit einem liegenden Manometer und mit der Röhre der Segmentkapsel verbunden.

Die Winkelempfindlichkeit wurde auf folgende Weise bestimmt:

Winkelempfindlichkeit

$$\frac{\text{Ausschlag} \times 10^6}{= p \sin \alpha \times s \times 981 \times 2 \text{ optische Hebelläng}}$$

Den Ausschlag multiplizierte ich mit 10^6, um nicht mit kleinen Brüchen rechnen zu müssen. p = Druck, doppelt genommen in Zentimeter Petroleum.

Von der liegenden Petroleumsäule rechne ich durch Bestimmung des sin α um in eine stehende Petroleumsäule. Durch Multiplikation mit dem spezifischen Gewicht des Petroleums rechne ich weiter in eine Wassersäule um (s des Petroleums = 0,8).

6. Lichtquelle.

Als Lichtquelle diente mir das Stäbchen einer Nernstlampe.* Durch ein Objektiv wird das Licht zu einem Strahlenbündel gesam-

* Seemann, Zeitschrift f. biolog. Technik u. Methodik. I, S. 112, 1908.

melt und auf einen schräggestellten Spiegel geworfen, von hier aus auf den kleinen Spiegel auf der Kapsel und von diesem wieder auf den schrägen Spiegel, von wo aus auf einen weißen Schirm ein scharfes Bild des Nernststäbchens projiziert wird.

Optischer Hebel ist die Strecke des Lichtstrahls von dem Membranspiegel bis zum schrägen Spiegel – Strecke von diesem bis zum Projektionsschirm.

e) Versuchsergebnisse.

Zunächst ist ein sehr gleichmäßiger Ausschlag sowohl für die Beanspruchung auf hydrostatischen Druck, als auf ein Drehmoment zu beachten, wie die folgenden Versuchsbeispiele zeigen.

Tabelle 5. Versuch 16.

Durchmesser der Kapsel 3 cm. Dicke der Membran 0.25 mm.

Druck cm	Empfindlichkeit
2	5.42
4	„
8	„
10	„
12	„
16	5.62
20	5.73

Mittlere Empfindlichkeit = 5.49.

Tabelle 6. Versuch 40/41.

Durchmesser der Kapsel 1 cm. Dicke der Membran 0.25 mm.

Druck cm	Empfindlichkeit	Moment	Torsionsmodul
2	1.25	0.1436	21 200
4	„	0.2037	20 800
8	„	0.2561	20 300
10	„	0.2231	20 700
12	„	0.1455	21 200
16	„	0.3628	20 600

Mittlere Empfindlichkeit = 1.25. Mittl. Torsionsmodul = 20800·

Tabelle 7. Versuch 53/54.

Durchmesser der Kapsel 5 cm. Dicke der Membran 0.3 mm.

Druck cm	Empfindlichkeit	Moment	Torsionsmodul
2	10.8	1.5162	288 000
4	„	3.5264	271 000
6	„	1.9456	300 000
8	„	1.7404	297 000
10	11.1	3.4048	277 000

Mittlere Empfindlichkeit = 10.86.
Mittlerer Torsionsmodul = 287 000.

Im allgemeinen scheint es so, als ob die Empfindlichkeit mit wachsender Deformation etwas zunähme, ähnlich wie dies auch für die kreisförmige Membran der Fall ist. Für sie ist diese Inkonstanz auf die zunehmende Einbeziehung der peripheren Membranteile in die Deformation früher erklärt worden (Frank).

Die Abweichungen der Beobachtung von der Rechnung lassen sich so beschreiben, daß im allgemeinen das beobachtete γ, die Empfindlichkeit, größer ist als die berechnete und umgekehrt der Elastizitätskoeffizient η kleiner als der berechnete ausfällt (Tab. 8, 9, 10). Die Differenzen sind auf verschiedene Momente zurückzuführen. Zunächst ist die Spannung S aus der Deformation, d. h. aus der prozentualen Ausdehnung der Membran berechnet worden und aus der Dicke. Die Formel selbst, die die Berechnung ermöglicht, dürfte wohl hinreichend genau sein. Aber die

Tabelle 8. Versuche 1—13 (25. II. bis 6. III. 1911).

Versuchs-Nr.	Dicke der Membran mm	R der Kapsel cm	ρ_0	Torsionsmodul beobachtet	Torsionsmodul berechnet
4	0.09	0.5	0.7	5860	8220
5	„	0.5	0.7	8050	8220
2	„	1.0	0.8	16400	52830
7	„	1.0	0.8	17500	52830
1	„	1.5	0.7	29800	73980
3	„	1.5	0.7	38760	73980
6	„	1.5	0.7	54100	73980
12	0.25	0.5	0.7	25240	22830
13	„	0.5	0.7	29500	22830
10	„	1.0	0.8	133000	146760
11	„	1.0	0.8	134700	146760
8	„	1.5	0.7	266000	205500
9	„	1.5	0.7	195600	205500

Tabelle 9. Versuch 14—28 (6. bis 15. III. 1911).

Versuchs-Nr.	Dicke der Membran mm	R der Kapsel cm	ρ_0	Empfindlichkeit	
				beobachtet	berechnet
19	0.09	0.5	0.7	6.02	3.2
22	„	0.5	0.7	6.01	3.2
20	„	1.0	0.8	12.90	4.17
23	„	1.0	0.8	12.44	4.17
21	„	1.5	0.7	24.99	9.5
24	„	1.5	0.7	29.30	9.5
14	0.25	0.5	0.7	1.11	1.14
27	„	0.5	0.7	0.92	1.14
28	„	0.5	0.7	0.96	1.14
15	„	1.0	0.8	3.03	1.5
25	„	1.0	0.8	3.11	1.5
26	„	1.0	0 8	1.92	1.5
16	„	1.5	0.7	5.49	3.4
17	„	1.5	0.7	5.46	3.4
18	„	1.5	0.7	5.49	3.4

Bestimmung der Dicke ist besonders bei den dünnen Membranen nur angenähert durchzuführen. Außerdem geht in die Formel der Elastizitätsmodul des Gummis ein, der wechselt nach der Gummisorte und dem Alter des Gummis. Die Konstante 10×10^6 besitzt nur der frische Paragummi. Außerdem ist es natürlich nicht leicht, die Ausdehnung um 7% einzuhalten und sie konstant zu erhalten. Und zum Schluß spielt das Aufkleben der Platte die zudem sehr dünn war, eine große Rolle Sehr wichtig ist es daher zunächst, die Prüfung der Beobachtungen so zu gestalten, daß

Tabelle 10. Versuch 29—53 (25. IV. bis 10.V. 1911).

Versuchs-Nr.	Dicke der Membran	R der Kapsel	ρ_0	Empfindlichkeit		Torsionsmodul	
				beobachtet	berechnet	beobachtet	berechnet
	mm	cm					
40. 41.	0.25	0.5	0.7	1.25	1.14	20800	22830
38. 39.	„	1.0	0.8	3.73	1.50	123600	146760
35.	„	1.5	0.7	—	—	172600	205500
37. 36.	„	1.5	0.7	7.60	3.40	157500	205500
31.32. 29.	„	2.5	0.64	15.50 15.20	6.90	303500	498400
31.32. 30.	„	2.5	0 64	15.50	6.90	332600	498400
33.	„	2.5	0.64	15.20 —	—	326000	498400
34.	„	2.5	0.64	—	—	323000	498400
43. 42.	„	2.5	0.64	12.55	6.90	445400	498400
47. 46.	„	2.5	0.56	29.10	8.51	173000	400000
49. 48.	„	2.5	0.72	23.90	5.30	248000	617500
51. 50.	0.3	2.5	0.8	3.33	3.76	1690000	1101000
52. 53.	0.3	2.5	0.4	10.80	11.90	287000	287800

die Größe von S nicht in Betracht kommt. Das ist der Fall bei dem Produkt aus γ und η. Dies Produkt ist in der nächsten Tabelle 11 zusammengestellt.

Hier zeigt es sich nun, daß das beobachtete Produkt stets größer ausfiel als das berechnete. Oben ist schon darauf aufmerksam gemacht worden, daß die Analyse hier Unstimmigkeiten aufweist und daß vermutlich das Produkt größer ist, als die Berechnung ergibt. Was hier aus allgemeinen Betrachtungen gefolgert worden ist, wird nun durch die Erfahrung bestätigt. Aus der Tabelle geht ferner noch hervor, daß dies Produkt mit wachsender

Tabelle 11.

Versuchs-Nr.	R cm	ρ	$\frac{\gamma \cdot \eta}{R^3}$ beobachtet	$\frac{\gamma \cdot \eta}{R^3}$ berechnet
52. 53.	2.5	0.4	0.198	0.219
47. 46.	2.5	0.56	0.406	0.218
31. 32. 29.	2.5	0.64	0.301 0.295	0.220
31. 32. 30.	2.5	0.64	0.330	
43. 42.	2.5	0.64	0.324 0.358	
		Mittel =	0.316	
37. 36.	1.5	0.7	0.355	0.207
49. 48.	2.5	0.72	0.379	0.210
38. 39.	1.0	0.8	0.461	0.221
51. 50.	2.5	0.8	0.360	0.265
		Mittel =	0.389	

Plattenhöhe, wie zu erwarten war, ansteigt. Jedenfalls zeigen die Beobachtungen das eine, daß die Güte, die durch das Produkt angegeben wird, größer ist, als nach der Berechnung zu erwarten wäre.

Wenn auch diese kleine Unstimmigkeit vorläufig noch nicht beseitigt ist, so kann man doch sagen, daß die Berechnungen und Beobachtungen ergeben haben, daß man der Beherrschung des Problems nach der theoretischen und praktischen Seite nahe gekommen ist.

Die in der vorliegenden Abhandlung nach der theoretischen und experimentellen Seite

geprüften Methoden ermöglichen es, Feinheiten im Ablauf der Bewegungsvorgänge aufzudecken, die sonst nicht aufgefunden werden können. So zeigen sich in den von dem bloßgelegten, in situ befindlichen Herzen aufgenommenen Kardiogrammkurven Schwingungen, die zweifellos dem ersten Herzton bei dem Warmblüter analog sind. Ihr Nachweis stützt die von Frank ausgesprochene Meinung, daß der erste Herzton in erster Linie durch den brüsken Anfang der Ventrikelkontraktion bedingt ist.

* * *

Hilfs-Tabelle 1.

n	$\frac{1}{(2n+1)\cdot(2n+3)}$	$\lg \frac{1}{(2n+1)\cdot(2n+3)}$	$\frac{1}{(2n-1)\cdot(2n+1)\cdot(2n+3)}$	$\lg \frac{1}{(2n-1)\cdot(2n+1)\cdot(2n+3)}$
0	$\frac{1}{3}$	$\bar{1},5229$	$\frac{1}{3}$	$\bar{1},5229$
1	$\frac{1}{15}$	$\bar{2},8239$	$\frac{1}{15}$	$\bar{2},8239$
2	$\frac{1}{35}$	$\bar{2},4549$	$\frac{1}{105}$	$\bar{3},9788$
3	$\frac{1}{63}$	$\bar{2},2007$	$\frac{1}{315}$	$\bar{3},5017$
4	$\frac{1}{99}$	$\bar{2},0044$	$\frac{1}{693}$	$\bar{3},1593$
5	$\frac{1}{143}$	$\bar{3},8447$	$\frac{1}{1287}$	$\bar{4},8904$
6	$\frac{1}{195}$	$\bar{3},7100$	$\frac{1}{2145}$	$\bar{4},6686$
7	$\frac{1}{255}$	$\bar{3},5935$	$\frac{1}{3315}$	$\bar{4},4795$
8	$\frac{1}{323}$	$\bar{3},4908$	$\frac{1}{4845}$	$\bar{4},3147$
9	$\frac{1}{399}$	$\bar{3},3990$	$\frac{1}{6783}$	$\bar{4},1686$
10	$\frac{1}{483}$	$\bar{3},3161$	$\frac{1}{9177}$	$\bar{4},0373$
11	$\frac{1}{575}$	$\bar{3},2403$	$\frac{1}{12080}$	$\bar{5},9181$
12	$\frac{1}{675}$	$\bar{3},1707$	$\frac{1}{15530}$	$\bar{5},8090$
13	$\frac{1}{783}$	$\bar{3},1062$	$\frac{1}{19580}$	$\bar{5},7083$
14	$\frac{1}{899}$	$\bar{3},0462$	$\frac{1}{24270}$	$\bar{5},6149$
15	$\frac{1}{1023}$	$\bar{4},9901$	$\frac{1}{29670}$	$\bar{5},5277$
16	$\frac{1}{1155}$	$\bar{4},9374$	$\frac{1}{35810}$	$\bar{5},4461$
17	$\frac{1}{1295}$	$\bar{4},8877$	$\frac{1}{45740}$	$\bar{5},3399$

Hilfs-Tabelle 2. a = 0,9.

n	a^{2n-1}	$1-a^{2n-1}$
0	1.1111	0.1111
1	0.9000	0.1000
2	0,7290	0.2710
3	0.5905	0.4095
4	0.4783	0.5217
5	0.3874	0.6126
6	0.3138	0.6862
7	0.2542	0.7458
8	0.2059	0.7941
9	0.1668	0.8333
10	0.1352	0.8648
11	0.1094	0.8906
12	0.0886	0.9114
13	0.0718	0.9282
14	0.0581	0.9419
15	0.0471	0.9539
16	0.0381	0.9619
17	0.0309	0.9691

Hilfs-Tabelle 3. lg cos (2n+1) φ.

φ	n = 0	n = 1	n = 2	n = 3	n = 4
π/8	$\bar{1}.9656$ $+\cos \pi/8$	$\bar{1}.5828$ $+\cos 3\pi/8$	$\bar{1}.5828$ $-\cos 3\pi/8$	$\bar{1}.9656$ $-\cos \pi/8$	$\bar{1}.9656$ $-\cos \pi/8$
π/4	$\bar{1}.8495$ $+\cos \pi/4$	$\bar{1}.8495$ $-\cos \pi/4$	$\bar{1}.8495$ $-\cos \pi/4$	$\bar{1}.8495$ $+\cos \pi/4$	$\bar{1}.8495$ $+\cos \pi/4$
3 π/8	$\bar{1}.5828$ $+\cos 3\pi/8$	$\bar{1}.9656$ $-\cos \pi/8$	$\bar{1}.9656$ $+\cos \pi/8$	$\bar{1}.5828$ $-\cos 3\pi/8$	$\bar{1}.5828$ $-\cos 3\pi/8$
7 π/16	$\bar{1}.2902$ $+c.\ 7\pi/16$	$\bar{1}.7447$ $-c.\ 5\pi/16$	$\bar{1}.9199$ $+c.\ 3\pi/16$	$\bar{1}.9916$ $-\cos \pi/16$	$\bar{1}.9916$ $+\cos \pi/16$

Hilfs-Tabelle 4. $\rho_0 = 0.8$.

(1—a) Reihe.

a	φ	I.	II.	III.	IV.	V.
0.8	π/8	— 0.0770	+ 0.0051	+ 0.0018	+ 0.0020	+ 0.0011
0.8	π/4	— 0.0589	— 0.0094	+ 0.0033	+ 0.0016	— 0.0008
0.9	3π/8	— 0.0142	— 0.0062	— 0.0024	— 0.0005	+ 0.0003
0.9	7π/16	— 0.0072	— 0.0037	— 0.0021	— 0.0013	— 0.0007

a Reihe.

0.8	π/8	+ 0.3850	— 0.0204	— 0.0056	+ 0.0048	— 0.0020
0.8	π/4	+ 0.2936	+ 0.0377	— 0.0103	— 0.0037	+ 0.0015
0.9	3π/8	+ 0.1417	+ 0.0554	+ 0.0192	+ 0.0036	— 0.0018
0.9	7π/16	+ 0.0723	+ 0.0333	+ 0.0173	+ 0.0092	+ 0.0047

Hilfs-Tabelle 5. $\rho_0 = 0.4$.

(1—a) Reihe.

a	φ	I.	II.	III.	IV.	V.
0.4	π/8	— 0.4619	+ 0.0153	+ 0.0034	— 0.0029	+ 0.0013
0.4	π/4	— 0.3536	— 0.0283	+ 0.0063	+ 0.0022	— 0.0010
0.6	3π/8	— 0.0850	— 0.0246	— 0.0069	— 0.0011	+ 0.0005
0.8	7π/16	— 0.0163	— 0.0074	— 0.0039	— 0.0021	— 0.0011

a Reihe.

0.4	π/8	+ 0.7699	— 0.0102	— 0.0007	+ 0.0002	—0.00002
0.4	π/4	+ 0.5893	+ 0.0189	— 0.0013	— 0.0001	+0.00001
0.6	3π/8	+ 0.2127	+ 0.0370	+ 0.0057	+ 0.0005	—0.0001
0.8	7π/16	+ 0.0813	+ 0.0296	+ 0.0122	+ 0.0051	+0.0021

Hilfs-Tabelle 6.

Gleichungen für die Berechnungen von ρf.

$$\rho = 0.8$$

$$\varphi = \pi/8 : 0.8 \times 0.0736 \cos \pi/8 = 0.8\,(1+\varepsilon)\,(0.0710 - 0.3618\varepsilon)$$
$$\pi/4 : 0.8 \times 0.0736 \cos \pi/4 = 0.8\,(1+\varepsilon)\,(0.0642 - 0.3188\varepsilon$$
$$3\pi/8 : 0.8 \times 0.0736 \cos 3\pi/8 = 0.9\,(1+\varepsilon)\,(0.0230 - 0.2181\varepsilon)$$
$$7\pi/16 : 0.8 \times 0.0736 \cos 7\pi/16 = 0.9\,(1+\varepsilon)\,(0.0144 - 0.1368\varepsilon)$$

$$\rho = 0.4$$

$$\varphi = \pi/8 : 0.4 \times 0.4672 \cos \pi/8 = 0.4\,(1+\varepsilon)\,(0.4447 - 0.7592\varepsilon)$$
$$\pi/4 : 0.4 \times 0.4672 \cos \pi/4 = 0.4\,(1+\varepsilon)\,(0.3744 - 0.5968\varepsilon)$$
$$3\pi/8 : 0.4 \times 0.4672 \cos 3\pi/8 = 0.6\,(1+\varepsilon)\,(0.1171 - 0.2558\varepsilon)$$
$$7\pi/16 : 0.4 \times 0.4672 \cos 7\pi/16 = 0.8\,(1+\varepsilon)\,(0.0307 - 0.1303\varepsilon)$$
$$85^\circ : 0.4 \times 0.4672 \cos 85^\circ = 0.9\,(1+\varepsilon)\,(0.0879 - 0.0718\varepsilon)$$

* * *

Herrn Prof. Dr. Otto Frank sage ich für die Anregung und Anleitung zu den vorliegenden Untersuchungen meinen herzlichsten Dank.

Lebenslauf.

Ich wurde am 18. November 1884 zu Weiding in der Oberpfalz geboren. Nach Erlangung des Reifezeugnisses am Ludwigsgymnasium in München im Jahre 1904 widmete ich mich an der Universität München dem Studium der Medizin, im Wintersemester 1909/10 war ich Assistent am Physiologischen Institut der Akademie für praktische Medizin in Köln. Im Jahre 1910 unterzog ich mich erfolgreich der Approbationsprüfung. Hierauf wurde ich ab Dezember 1910 Assistent am Physiolog. Institut der Universität München.

München, im Jahre 1911.

OTTO BECK.